

the sensor section of a flowmeter and a massflow controller, computes the detection property of a flowmeter and a massflow controller with the relation of each flow rate signal and quantity of gas flow, and computes the amount of amendments of the detection property of a massflow controller based on the detection property of the flowmeter and massflow controller

The calibrating apparatus of the massflow controller characterized by ****(ing).

DETAILED DESCRIPTION

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention]

This invention relates to the proofreading approach of the suitable massflow controller for mass flow rate control of the raw gas which is concerned with the proofreading approach of a massflow controller, and equipment, for example, is used in a semi-conductor manufacture process, and equipment.

[0002]

[Description of the Prior Art]

Generally in semi-conductor manufacture, the process of membrane formation or etching is repeatedly performed to a semi-conductor wafer. The high responsibility which can supply gas according to a demand of a process that there is no time lag quickly is required of the supply means of the gas fluid for processing (gas is called below.) used in these processes as an advanced supply precision which can control a quantity of gas flow to a precision. The mass flow rate control unit and the so-called massflow controller (MFC is called unless it writes clearly especially the following.) have been conventionally used as a fluid control unit which can satisfy those demands.

[0003]

The outline block diagram of the conventional MFC is shown in drawing 8 . MFC1 is equipped with the control circuit section 13 which controls the sensor section 11, the flow control valve 12, and these which detect the flow rate of the gas interposed in the fluid channel 4 formed with stainless steel etc.

The sensor section 11 consists of a sensor control circuit 113 which controls the output of the sensor tubing 111 with which a part of total capacity flows, the bypass 5 with which remaining most flows, the sensor 112 by which it comes to wind the heating wire 114 of a pair around the sensor tubing 111, and a sensor 112. The sensor section 11 detects change of the electric resistance of the heating wire 114 generated in connection with the heat transfer by the flow of the gas of a fluid channel 4 by the bridge circuit of the sensor control circuit 113 where heating wire 114 was incorporated, and outputs a quantity of gas flow as a flow rate signal, for example, an electrical potential difference of 0-5V.

The flow control valve 12 is equipped with the bulb mechanical component 123 which impresses the bulb electrical potential difference which drives the diaphragm 121 as a

valve element, the actuator 122 which operates a diaphragm 121, and an actuator 122. The actuator 122 is formed for example, by the laminating mold piezoelectric device etc., is driven with the bulb electrical potential difference impressed from the bulb mechanical component 123, and operates a diaphragm 121.

[0004]

MFC1 is MFC of analogue-to-digital control, and the control circuit section 13 consists of a digital circuit system DE and an analog circuit system AN.

The digital circuit system DE is a circuit system centering on the digital arithmetic circuit 131 which consists of a microcomputer, and mainly outputs and inputs the signal of the control and the external device about the responsibility of the analog circuit system AN. The setting signal corresponding to the setting quantity of gas flow inputted from an external device, for example, semiconductor fabrication machines and equipment, is inputted into the digital arithmetic circuit 131 through an analog-digital converter (an A/D converter is called below.) 133. The amendment according to the detection property of the sensor section 11 is added to the setting signal so that it may mention later. The amended setting signal is outputted to a comparator 137 through a digital-to-analog converter (a D/A converter is called below.) 135, and it is made into the signal in comparison with the flow rate signal of the sensor section 11 so that it may mention later. Moreover, the digital arithmetic circuit 131 outputs the signal which directs the change of a controlled parameter to the controlled parameter change section 138 mentioned later, amends the flow rate signal of the sensor section 11 inputted through A/D converter 132, and outputs the amended flow rate signal to an external device through D/A converter 134. It is also possible to perform delivery of the setting signal performed in an external device and the digital arithmetic circuit 131 and a flow rate signal with a digital signal using an interface 136.

[0005]

The analog circuit system AN controls whenever [excuse / of a flow control valve 12] by making said flow rate signal into a feedback signal. Namely, while the analog circuit system AN outputs the flow rate signal of the sensor section 11 to the digital arithmetic circuit 131 through A/D converter 132 The sensor control circuit 113 which outputs the flow rate signal also to a comparator 137, The comparator 137 which sets up the driving signal which controls the amount of impression of a bulb electrical potential difference based on the setting signal amended in said digital arithmetic circuit 131, a flow rate signal, and the controlled parameter mentioned later, and outputs the driving signal to the bulb mechanical component 123, It has said bulb mechanical component 123 and the controlled parameter change section 138 which is connected with a comparator 137 and in which the controlled parameter was stored.

Whenever [valve-opening / of a flow control valve 12] will be controlled by the above-mentioned configuration by the sensor control circuit 113, a comparator 137, and the bulb mechanical component 123 by the closed loop. That is, the sensor control circuit 113 outputs the quantity of gas flow detected by the sensor 112 as a flow rate signal. A

comparator 137 is outputted to the bulb mechanical component 123 while it sets up a driving signal based on the flow rate signal which is a feedback signal, the setting signal which is desired value, and the controlled parameter mentioned later. The bulb mechanical component 123 will impress a bulb electrical potential difference with the driving signal, it will operate and have an actuator 122, and whenever [valve-opening / of a flow control valve 12] will be controlled.

[0006]

In order to be referred to as MFC1 which has an advanced supply precision, it becomes important, when a zero point shift and linearity of the relation between a flow rate signal and a quantity of gas flow, i.e., a detection property, control the error of control of flow. That is, as a broken line shows drawing 5 , as for the detection property of MFC1, it is desirable to become a straight line (ideal property) passing through a zero. However, generally, as for the detection property, drawing 5 serves as the shape of a curve from which the zero point shifted [zero], as is shown by the continuous line. Moreover, the detection property changes also with each sensor sections 11 and MFC1.

In order to amend gap of the detection property of MFC1 to an ideal property, zero setting and straight-line amendment are performed in the digital arithmetic circuit 131. the flow rate signal outputted from the sensor section 11 in fact -- receiving -- each time -- amendment -- adding -- if -- control -- a time lag -- generating -- a sake -- the digital arithmetic circuit 131 -- inputting -- having had -- a setup -- a signal -- receiving -- the above -- amendment will be performed. In order to obtain the zero point assistant conditioned weight and the amount of straight-line amendments, initial proofreading of MFC1 is needed.

[0007]

In order to be referred to as MFC1 which has high responsibility, it becomes important, when control of the output pattern of the driving signal which controls whenever [valve-opening] controls a time lag.

The control characteristic of MFC1 is shown in drawing 7 . To be shown in drawing 7 (a), a driving signal controls whenever [valve-opening / of a flow control valve 12] by the same output pattern so that the setting flow rate of gas turns into the peak of the flow rate of specification, and 5% of amount, i.e., 100% flow rate and 5% flow rate. In that case, delay, since the rise time until it flows and reaches a setting flow rate from the start also becomes long, by the time a quantity of gas flow reaches [the time amount of standup initiation as shown in drawing 7 (b), after valve-opening is directed compared with a flow rate 100% in the case of 5% flow rate until gas begins to flow] a setting flow rate, a time lag will occur. This is because a straight line is not served as, the relation, i.e., flow characteristics, of a driving signal and a quantity of gas flow, but they serve as the shape of an exponential curve, as drawing 4 is shown by the continuous line. Therefore, the output pattern of a driving signal needs to be optimized by the setting flow rate.

For optimization of the output pattern of a driving signal, the PID control which can control an output pattern by controlled parameters, such as proportionality, differential,

and an integration constant, is used. As mentioned above, a comparator 137 compares a setting signal with a flow rate signal, and sets up the magnitude of a driving signal. In that case, the controlled parameter according to a setting flow rate is included in a driving signal so that the output pattern of a driving signal may be optimized. In order to obtain the controlled parameter, initial proofreading of MFC1 is needed.

Moreover, since the detection property and flow characteristics of MFC1 change with the sensor 112, degradation of a diaphragm 121, reactant adhesion in a fluid channel wall, etc. with time, while using not only the first stage but after that, a periodical proofreading activity is needed.

[0008]

[Problem(s) to be Solved by the Invention]

Proofreading of the former and MFC1 connected the weight-type [for example,] flowmeter to MFC1 interposed in MFC1 simple substance or the fluid channel 4, measured the sink and the flow rate for the gas or the calibration gas actually used, and was doing with the help the activity of having inputted into the circuit control section 13 the amount of amendments and controlled parameter which checked and mentioned above the detection property and flow characteristics of MFC1 based on the measured value. Therefore, proofreading took time amount, and where MFC1 is interposed in a fluid channel 4, when proofreading, there was a problem of reducing the air cleanliness class of a semi-conductor production line according to the activity.

[0009]

An example of the proofreading approach of the conventional MFC is indicated by JP,7-263350,A. Gas can interpose a flowmeter in a flowing fluid path at the downstream of MFC and MFC, and can proofread MFC with a calibrator based on the detection value of a flowmeter, and this proofreading approach can prevent the fall of the air cleanliness class of the semi-conductor production line by the above helps' proofreading activity. However, in the paragraph 16 of JP,7-263350,A, if "· measurement flow rate x is outside convention error range, the quantity of gas flow of MFC1 will be proofread automatically or semi-automatically with a calibrator 5. It is [only being indicated as ·", and], about the proofreading approach of the detection property of MFC1, there is no reference concretely, and there is a problem that it cannot proofread efficiently so that MFC1 may have an advanced supply precision. Moreover, in order to be referred to as MFC1 which has high responsibility, it is necessary to ask for a controlled parameter based on the flow characteristics of MFC1 as mentioned above. However, a calibrator given in JP,7-263350,A cannot proofread a quantity of gas flow, cannot set up a controlled parameter, but it has the problem that it cannot proofread efficiently so that MFC1 may have high responsibility. This invention is made in view of the above-mentioned technical problem, and it aims at offering the proofreading approach of MFC and equipment which can be proofread efficiently so that MFC may have a high supply precision and responsibility.

[0010]

[Means for Solving the Problem]

The proofreading approach of the massflow controller of this invention which solved the above-mentioned technical problem It is the proofreading approach of the flow control valve which is interposed in the fluid channel which pours a gas fluid, and controls whenever [valve-opening] by the driving signal, and the massflow controller equipped with the sensor section which outputs the flow rate of this gas fluid as a flow rate signal. A driving signal is adjusted so that it may become a predetermined quantity of gas flow based on the flow rate signal of the flowmeter which outputs the flow rate of this gas fluid as a flow rate signal. The process which computes the controlled parameter which controls the output pattern of a driving signal based on the flow characteristics of the obtained massflow controller, A quantity of gas flow predetermined in the sensor section of a flowmeter and a massflow controller is measured, and it is characterized by having the process which computes the amount of amendments of the detection property of a massflow controller based on the acquired detection property of a flowmeter and a massflow controller.

[0011]

Moreover, the calibrating apparatus of the massflow controller of this invention It is the calibrating apparatus of the massflow controller equipped with the sensor section which outputs the flow rate of the flow control valve and this gas fluid with which it is interposed in the fluid channel which pours a gas fluid, and whenever [valve-opening] is controlled by the driving signal as a flow rate signal. It has the flowmeter which outputs the flow rate of this gas fluid as a flow rate signal, and the calibrator which controls said massflow controller based on the flow rate signal of the flowmeter. This calibrator The 1st arithmetic circuit which adjusts a driving signal and acquires the flow characteristics of said massflow controller so that it may become a predetermined quantity of gas flow based on the flow rate signal of a flowmeter, The bulb proofreading section equipped with the 2nd arithmetic circuit which computes the controlled parameter which controls the output pattern of a driving signal based on the flow characteristics of the obtained massflow controller, The 3rd arithmetic circuit which measures a quantity of gas flow predetermined in the sensor section of flowmeter and a massflow controller, and acquires the detection property of said massflow controller, It is characterized by having the sensor proofreading section equipped with the 4th arithmetic circuit which computes the amount of amendments of the detection property of a massflow controller based on the acquired detection property of a flowmeter and a massflow controller.

[0012]

[Embodiment of the Invention]

An example of the operation gestalt of this invention is explained based on drawing 1 - drawing 6 . Drawing 1 shows one embodiment of the calibrating apparatus of MFC of this invention. Drawing 2 shows the proofreading approach of the flow characteristics of MFC, and drawing 3 shows the flow of the proofreading approach of the detection property of MFC. Drawing 4 shows the relation of the driving signal and quantity of gas flow for explaining the proofreading approach of the flow characteristics of MFC. Drawing 5 shows

the relation of the quantity of gas flow and flow rate signal for explaining the proofreading approach of the detection property of MFC. Drawing 6 shows the amount of inclinations of flow characteristics for explaining the calculation approach of a controlled parameter, and the relation of a proportionality constant.

In addition, although explanation of this following embodiment has described proofreading of MFC of the analogue-to-digital control mentioned above, the proofreading approach of MFC of this invention and its equipment can also be applied to MFC of analog control which has a digital control circuit, for example in MFC and the exterior of digital control, without restricting to it.

[0013]

As shown in drawing 1, the calibrating apparatus of MFC of this embodiment consists of a calibrator 3 which controls the flowmeter 2 with which gas was interposed in the lower stream of a river of MFC9 and MFC9 interposed in the flowing fluid path 4, and MFC9 and a flowmeter 2. The closing motion valve is arranged in the generation of gas means which is not illustrated in drawing 1 to the upstream which is left-hand side, and its downstream. Moreover, in drawing 1, the semi-conductor manufacture process which is not illustrated, for example, membrane formation equipment, and the etching system are arranged in the downstream which is right-hand side. In addition, in drawing 1, the same sign is attached about the same component as drawing 8, and explanation is omitted.

[0014]

MFC9 adds the proofreading element and calibration function concerning this invention to above mentioned conventional MFC1, and consists of the control circuit section 93 which controls the sensor section 11, a flow control valve 12, and them. The control circuit section 93 consisted of a digital circuit system DE and an analog circuit system NA, and the digital circuit system DE is equipped with the digital arithmetic circuit 931 and the circuit change section 939.

In addition to actuation of the above mentioned digital arithmetic circuit 131 of conventional MFC1, the digital arithmetic circuit 931 outputs the driving signal inputted from a calibrator 3 through A/D converter 133 to the bulb mechanical component 123 through D/A converter 135, and outputs the signal which changes a circuit to the circuit change section 939 which outputs the flow rate signal inputted from the sensor section 11 through A/D converter 132 to a calibrator 3, and mentions it later through D/A converter 134.

The circuit change section 939 is formed in order a flow rate signal is uninfluent and to carry out the direct output of the driving signal to the bulb mechanical component 123. That is, the circuit change section 939 is formed all over the circuit which connects a comparator 137 to D/A converter 135, and in the case of proofreading, a circuit is changed by the signal of the digital arithmetic circuit 931, and it outputs a driving signal to the bulb mechanical component 123 through a comparator 137 at it.

[0015]

Fundamentally, a flowmeter 2 removes a flow control valve 12 from above mentioned

conventional MFC1, and has the sensor section 21 and the control circuit section 23. The structure of the sensor section 21 is the same as that of the sensor section 11 of said MFC1, and consists of a sensor control circuit 213 which controls the output of the sensor tubing 211, a bypass 6, the sensor 212 by which it comes to wind the heating wire 214 of a pair around the sensor tubing 211, and a sensor 212. The control circuit section 23 is amended so that the flow rate signal of the sensor section 22 inputted through A/D converter 232 may be mentioned later, and it has the digital arithmetic circuit 231 which is outputted to a calibrator 3 through D/A converter 234 and which consists of a microcomputer, for example, and the interface 236.

[0016]

A flowmeter 2 is proofread by the precision by the prototype of for example, a weight type flowmeter etc. That is, if the detection property of the sensor section 22 of a flowmeter 2 is measured by the prototype, the detection property of the shape of a curve as shown as a continuous line in drawing 5 can be acquired. In order to perform zero setting of the detection property, the zero point is moved to a zero, as an arrow head A shows, and let the movement magnitude be zero point assistant conditioned weight. Next, it asks as an amount of displacement as shows the gap with the ideal property shown with the detection property and broken line after the zero setting shown with an alternate long and short dash line by the arrow head B, and let the amount of displacement be the amount of shift amendments.

The flow rate signal of the sensor section 22 inputted into the digital circuit 231 through A/D converter 232 will be amended by the above-mentioned zero point assistant conditioned weight and the amount of shift amendments, and will be outputted to a calibrator 3 through D/A converter 234. In addition, the flow rate signal amended in the digital circuit 231 can also be outputted as a digital signal using an interface 236.

In addition, although the flowmeter 2 in this embodiment measures a quantity of gas flow using thermal effectiveness, the various flowmeters 2, such as what used the electromagnetic-like effectiveness, for example, and a thing using an electromagnetic wave, can be used for it.

[0017]

For example, the calibrator 3 which consists of a microcomputer proofreads the flow characteristics and the detection property of MFC9 based on the flow rate signal of a flowmeter 2. A driving signal is adjusted so that a calibrator 3 may serve as a predetermined quantity of gas flow based on the flow rate signal of a flowmeter 2. The bulb proofreading section 31 which computes the flow characteristics of MFC9 and computes a controlled parameter based on the flow characteristics of the MFC9 from the relation of the quantity of gas flow and driving signal which were acquired, A quantity of gas flow predetermined by the flowmeter 2 and MFC9 is measured, and it has the sensor proofreading section 32 which computes the detection property of a flowmeter 2 and MFC9, and computes the amount of amendments of the detection property of MFC9 based on the detection property of the flowmeter 2 and MFC9 from the relation of each flow rate signal

and quantity of gas flow.

[0018]

The proofreading approach of MFC9 by the calibrating apparatus of MFC9 of this embodiment which was described above is explained below.

The proofreading approach of MFC9 of this embodiment,

- 1) The process which adjusts a driving signal and computes the controlled parameter which controls the output pattern of a driving signal based on the flow characteristics of the obtained massflow controller so that it may become a predetermined quantity of gas flow based on the flow rate signal of a flowmeter,
- 2) The process which measures a quantity of gas flow predetermined in the sensor section of a flowmeter and a massflow controller, and computes the amount of amendments of the detection property of a massflow controller based on the acquired detection property of a flowmeter and a massflow controller

It is ****(ing).

[0019]

First, the process which computes the controlled parameter of the 1st above-mentioned term is explained. As this process is performed by the bulb proofreading section 31 of a calibrator 3 and is shown in drawing 2 The closing motion valve arranged at the upstream of MFC9 is opened, and the driving signal assumed to become a flow rate 100% to (A) and the bulb mechanical component 123 of a flow control valve 12 is given. (B), If the flow rate of the gas which flows a fluid channel 4 is measured with a flowmeter 2, (C), its quantity of gas flow, and predetermined 100% flow rate are measured and (D) and its difference have separated from the reference value, the magnitude of a driving signal will be adjusted so that it may become predetermined 100% flow rate (E). The relation between the quantity of gas flow in the quantity-of-gas-flow range of specification as shown as a continuous line in (F) and drawing 4 , and a driving signal, i.e., the flow characteristics of a flow control valve 12, can be obtained from a flow rate for the same actuation to a flow rate 0% 100% by repeating two or more times for every flow rate 10%.

Next, a controlled parameter is computed based on the flow characteristics of the flow control valve 12 (G). In this embodiment, the amount of inclinations of the tangent to the predetermined flow rate of the flow characteristics shown as a continuous line in drawing 4 is calculated, and a controlled parameter is computed with the amount of inclinations so that it may explain to a detail below.

[0020]

A controlled parameter and here explain the calculation approach of a proportionality constant based on drawing 4 and 7. Drawing 7 shows the amount of inclinations of the tangent of the flow characteristics of said MFC9, and the relation of a proportionality constant, and the proportionality constant is relatively displayed considering the proportionality constant at the time of 100% flow rate as 1. In drawing 4 , the amount of inclinations of the tangent at the time of 50% flow rate is computed. Next, the amount of inclinations at the time of the 50% flow rate is included in the amount of inclinations of the

tangent of flow characteristics and the relation of a proportionality constant as shown in drawing 7 , and a proportionality constant is computed. In addition, the amount of inclinations of the tangent of flow characteristics and the relation of a controlled parameter as shown by drawing 7 $R > 7$ are stored in the 2nd arithmetic circuit as a formula or a table, for example, the amount of inclinations which differentiated flow characteristics and was calculated is substituted for the formula or table, and a controlled parameter is called for. The computed controlled parameter will be transmitted and stored in the controlled parameter change section 138 of MFC9.

[0021]

Next, the process which computes the amount of amendments of the 2nd above-mentioned term is explained. This process is performed by the sensor proofreading section 31 of a calibrator 3, and as shown in drawing 3 , it is measured by the flowmeter 2 and MFC9 in the condition of closing a closing motion valve and not passing (A) and gas (B, C). It considers as whenever [valve-opening / of the flow control valve 12 from which a closing motion valve is opened and (D) and a predetermined quantity of gas flow turn into a flow rate 10%]. (E), The detection property of MFC9 of the shape of a curve shown as a continuous line in (H) and drawing 5 by measuring the quantity of gas flow by the flowmeter 2 and MFC9 (F, G), and repeating the cycle two or more times for every flow rate 10% to a flow rate a flow rate - 100% 10%, The detection property of the flowmeter 2 of the shape of a straight line passing through the zero shown with a broken line can be acquired. Next, based on each detection property, the amount of amendments of the detection property of MFC9 is computed as follows (I).

[0022]

As shown in drawing 5 , in order to perform zero setting of the detection property of MFC9 shown as a continuous line, the zero point is moved to a zero, as an arrow head A shows, and let the movement magnitude be zero point assistant conditioned weight. Next, it asks as an amount of displacement as shows the gap with the detection property of the flowmeter 2 shown with the detection property and broken line of MFC9 which is shown with an alternate long and short dash line, and which carried out zero setting by the arrow head B, and let the amount of displacement be the amount of shift amendments. The zero point assistant conditioned weight and the amount of shift amendments which were set up will be transmitted and stored in the digital arithmetic circuit 931 of MFC9.

[0023]

In addition, although proofreading of the flow characteristics of MFC9 and a detection property is independently carried out in above-mentioned explanation, respectively, it is also possible to carry out to coincidence. Moreover, although above-mentioned explanation has described initial proofreading, it is possible to carry out by the approach with the same said of proofreading in use [subsequent].

[0024]

[Effect of the Invention]

As explained above, in the proofreading approach of MFC of this invention, and its

equipment, it is possible to perform automatically calculation of the controlled parameter based on the amount of amendments of the detection property of MFC9 and the flow characteristics of MFC9 with the calibrator 3 which controls MFC9 and a flowmeter 2, and it can proofread very efficiently so that it may be set to an advanced supply precision and MFC9 which has high responsibility.

DESCRIPTION OF DRAWINGS

[Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1] It is drawing showing one embodiment of the calibrating apparatus of the massflow controller of this invention.

[Drawing 2] It is drawing showing the flow which amends the flow characteristics of a massflow controller.

[Drawing 3] It is drawing showing the flow which amends the detection property of a massflow controller.

[Drawing 4] It is drawing showing the relation of the driving signal of a quantity of gas flow and a massflow controller.

[Drawing 5] It is drawing showing the relation of the flow rate signal of a quantity of gas flow and a massflow controller.

[Drawing 6] It is drawing showing the magnitude of the inclination of a tangent and the relation of a proportionality constant for which it asked from the flow characteristics of a massflow controller.

[Drawing 7] It is drawing showing the control characteristic of a massflow controller.

[Drawing 8] It is the outline block diagram of the conventional massflow controller.

[Description of Notations]

13 1, 9: massflow controller, 11: sensor section, 12: flow control valve, 93: Control circuit section

2: A flowmeter, 21: sensor section, 23 : control circuit section

3: A calibrator, 31: bulb proofreading section, 32 : sensor proofreading section

4: Fluid channel

5: Bypass

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) **公開特許公報(A)**

(11) 特許出願公開番号

特開2004-20306

(P2004-20308A)

(43) 公開日 平成16年1月22日(2004.1.22)

(51) Int.Cl.⁷

GO 1 F 25/00

F 1

GO 1 F 25/00

R

テーマコード (参考)

審査請求 未請求 請求項の数 2 O L (全 10 頁)

(21) 出願番号 特願2002-173811 (P2002-173811)

(22) 出題日 平成14年6月14日 (2002. 6. 14)

(71) 出願人 000005083

日立金属株式会社

東京都港区芝浦一丁目2番1号

(72) 発明者 八木原 潔

埼玉県熊谷市三ヶ尻6010番地 日立金
属株式会社生産システム研究所内

(72) 発明者 後藤 崇夫

三重県三重郡朝日町小向210番地 桑名
クリエイト株式会社サムリサーチ内

(54) 【発明の名称】 マスフローコントローラの校正方法及びその装置

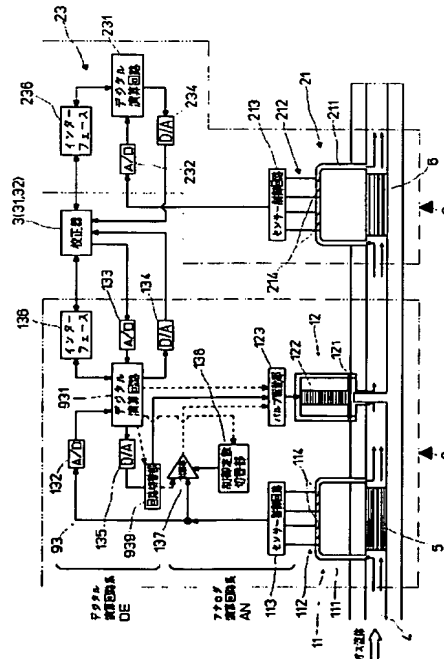
(57) 【要約】

【課題】本発明のマスフローコントローラの校正方法及びその装置は、MFCが高い供給精度と応答性を有するよう、効率的に校正できるMFCの校正方法及び装置を提供することを目的としている。

【解決手段】本発明のマスフローコントローラの校正方法は、ガス流体を流す流体通路に介設され、駆動信号により弁開度を制御する流量制御弁と該ガス流体の流量を流量信号として出力するセンサ部を備えたマスフローコントローラの校正方法であって、該ガス流体の流量を流量信号として出力する流量計の流量信号に基づいて所定のガス流量となるように駆動信号を調整し、得られたマスフローコントローラの流量特性に基づいて駆動信号の出力パターンを制御する制御定数を算出する工程と、流量計とマスフローコントローラのセンサ部で所定のガス流量を測定し、得られた流量計とマスフローコントローラの検出特性に基づいて、マスフローコントローラの検出特性の補正量を算出する工程とを有することを特徴としている。

【選択図】

图 1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

ガス流体を流す流体通路に介設され、駆動信号により弁開度を制御する流量制御弁と該ガス流体の流量を流量信号として出力するセンサ部を備えたマスフローコントローラの校正方法であって、

該ガス流体の流量を流量信号として出力する流量計の流量信号に基づいて所定のガス流量となるように駆動信号を調整し、得られたマスフローコントローラの流量特性に基づいて駆動信号の出力パターンを制御する制御定数を算出する工程と、

流量計とマスフローコントローラのセンサ部で所定のガス流量を測定し、得られた流量計とマスフローコントローラの検出特性に基づいて、マスフローコントローラの検出特性の補正量を算出する工程と

を有することを特徴とするマスフローコントローラの校正方法。

【請求項 2】

ガス流体を流す流体通路に介設され、駆動信号により弁開度を制御する流量制御弁と該ガス流体の流量を流量信号として出力するセンサ部を備えたマスフローコントローラの校正装置であって、

該ガス流体の流量を流量信号として出力する流量計と、その流量計の流量信号に基づきマスフローコントローラを制御する校正器を有し、

該校正器は、

流量計の流量信号に基づき所定のガス流量となるように駆動信号を調整し、得られたガス流量と駆動信号の関係よりマスフローコントローラの流量特性を算出し、そのマスフローコントローラの流量特性に基づいて駆動信号の出力パターンを制御する制御定数を算出するバルブ校正部と、

流量計とマスフローコントローラのセンサ部で所定のガス流量を測定し、それぞれの流量信号とガス流量の関係により流量計とマスフローコントローラの検出特性を算出し、その流量計とマスフローコントローラの検出特性に基づいてマスフローコントローラの検出特性の補正量を算出するセンサ校正部と

を有することを特徴としたマスフローコントローラの校正装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明はマスフローコントローラの校正方法および装置に関わり、例えば半導体製造プロセスで使用される処理ガスの質量流量制御用に好適なマスフローコントローラの校正方法及び装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】

一般に半導体製造においては、半導体ウエハに対し成膜やエッチングのプロセスが繰り返して行われる。これらのプロセスで用いられる処理用のガス流体（以下ガスと称する。）の供給手段には、ガス流量を精密に制御できる高度な供給精度と、プロセスの要求に応じ迅速にかつ時間遅れなくガスを供給できる高い応答性が要求される。それらの要求を満足させることが可能な流体制御装置として質量流量制御装置、いわゆるマスフローコントローラ（以下特に明記しない限りMFCと称する。）が従来より用いられてきた。

【0003】

従来のMFCの概略構成図を図8に示す。MFC1は、例えばステンレス鋼などで形成された流体通路4に介設されるガスの流量を検出するセンサ部11、流量制御弁12及びこれらを制御する制御回路部13とを備えている。

センサ部11は、全ガス量の一部が流れるセンサ管111と、残りの大部分が流れるバイパス5と、そのセンサ管111に一对の電熱線114が巻回されてなるセンサ112と、センサ112の出力を制御するセンサ制御回路113からなる。センサ部11は、流体通路4のガスの流れによる熱移動に伴って発生する電熱線114の電気抵抗の変化を、電熱

10

20

30

40

50

線 1 1 4 が組み込まれたセンサ制御回路 1 1 3 のブリッジ回路により検出し、ガス流量を流量信号、例えば 0 ～ 5 V の電圧として出力するものである。

流量制御弁 1 2 は、弁体としてのダイヤフラム 1 2 1 と、ダイヤフラム 1 2 1 を操作するアクチュエーター 1 2 2 と、アクチュエーター 1 2 2 を駆動するバルブ電圧を印加するバルブ駆動部 1 2 3 を備えている。アクチュエーター 1 2 2 は、例えば積層型圧電素子などで形成されており、バルブ駆動部 1 2 3 より印加されるバルブ電圧により駆動され、ダイヤフラム 1 2 1 を操作するものである。

【 0 0 0 4 】

M F C 1 はアナログーデジタル制御の M F C であり、制御回路部 1 3 はデジタル回路系 D E とアナログ回路系 A N からなる。

デジタル回路系 D E は、例えばマイクロコンピュータからなるデジタル演算回路 1 3 1 を中心とした回路系であり、アナログ回路系 A N の応答性に関する制御と外部装置との信号の入出力を主として行うものである。外部装置、例えば半導体製造装置から入力される設定ガス流量に対応する設定信号は、アナログーデジタル変換器（以下 A / D 変換器と称する。） 1 3 3 を介してデジタル演算回路 1 3 1 へ入力される。その設定信号には、後述するようにセンサ部 1 1 の検出特性に応じた補正が加えられる。補正されたその設定信号は、デジタルーアナログ変換器（以下 D / A 変換器と称する。） 1 3 5 を介して比較部 1 3 7 へ出力され、後述するようにセンサ部 1 1 の流量信号と比較する信号とされる。また、デジタル演算回路 1 3 1 は、後述する制御定数切替部 1 3 8 へ制御定数の切替を指示する信号を出力し、A / D 変換器 1 3 2 を介して入力されるセンサ部 1 1 の流量信号を補正し、その補正された流量信号を D / A 変換器 1 3 4 を介して外部装置へ出力するものである。外部装置とデジタル演算回路 1 3 1 で行われる設定信号および流量信号の受け渡しは、インターフェース 1 3 6 を用いてデジタル信号により行うことも可能である。

【 0 0 0 5 】

アナログ回路系 A N は、前記流量信号をフィードバック信号として流量制御弁 1 2 の弁解度を制御するものである。すなわち、アナログ回路系 A N は、センサ部 1 1 の流量信号を A / D 変換器 1 3 2 を介してデジタル演算回路 1 3 1 へ出力すると共に、その流量信号を比較部 1 3 7 へも出力するセンサ制御回路 1 1 3 と、前記デジタル演算回路 1 3 1 で補正された設定信号、流量信号および後述する制御定数に基づいてバルブ電圧の印加量を制御する駆動信号を設定し、その駆動信号をバルブ駆動部 1 2 3 へ出力する比較部 1 3 7 と、前記バルブ駆動部 1 2 3 と、比較部 1 3 7 と連結する、制御定数が格納された制御定数切替部 1 3 8 とを備えている。

上記の構成により、流量制御弁 1 2 の弁開度は、センサ制御回路 1 1 3、比較部 1 3 7 とバルブ駆動部 1 2 3 によりクローズドループで制御されることとなる。すなわち、センサ制御回路 1 1 3 は、センサ 1 1 2 で検出されたガス流量を流量信号として出力する。比較部 1 3 7 は、フィードバック信号である流量信号、目標値である設定信号および後述する制御定数に基づいて駆動信号を設定すると共にバルブ駆動部 1 2 3 へ出力する。バルブ駆動部 1 2 3 は、その駆動信号によりバルブ電圧を印加してアクチュエータ 1 2 2 を操作し、もって流量制御弁 1 2 の弁開度が制御されることとなる。

【 0 0 0 6 】

高度な供給精度を有する M F C 1 とするためには、流量信号とガス流量との関係、つまり検出特性のゼロ点シフトと直線性が流量制御の誤差を抑制する上で重要となる。すなわち、図 5 において破線で示すように、M F C 1 の検出特性は原点を通る直線（理想特性）となることが望ましい。しかしながら、一般的にその検出特性は、図 5 において実線で示されるようにゼロ点が原点からずれた曲線状となる。また、その検出特性は、個々のセンサ部 1 1 や M F C 1 によっても異なる。

理想特性に対する M F C 1 の検出特性のズレを補正するため、ゼロ点補正と直線補正がデジタル演算回路 1 3 1 で行われる。実際にはセンサ部 1 1 から出力される流量信号に対し都度補正を加えると制御に時間遅れが発生するため、デジタル演算回路 1 3 1 に入力された設定信号に対し上記の補正が行われることとなる。そのゼロ点補正量と直線補正量を得

10

20

30

40

50

るためMFC1の初期校正が必要となる。

【0007】

高い応答性を有するMFC1とするためには、弁開度を制御する駆動信号の出力パターンの制御が時間遅れを抑制する上で重要となる。

図7に、MFC1の制御特性を示す。図7(a)に示すように、例えばガスの設定流量が規格の流量の最大量と5%の量、つまり100%流量と5%流量となるよう、駆動信号が同一の出力パターンで流量制御弁12の弁開度を制御する。その場合、図7(b)に示すように、100%流量に比べ5%流量の場合には、弁開が指示されてからガスが流れ始めるまでの立上り開始の時間が遅れ、流れ始めから設定流量に達するまでの立上り時間も長くなるため、ガス流量が設定流量に到達するまでに時間遅れが発生する。これは、図4において実線で示されるように、駆動信号とガス流量との関係つまり流量特性が直線とならず、指数関数的な曲線状となるためである。よって、駆動信号の出力パターンは設定流量により最適化される必要がある。

駆動信号の出力パターンの最適化のためには、例えば比例、微分、積分定数などの制御定数により出力パターンを制御できるPID制御が用いられる。上述したように比較部137は、設定信号と流量信号とを比較して駆動信号の大きさを設定する。その際、駆動信号の出力パターンが最適化されるよう設定流量に応じた制御定数が駆動信号へ算入される。その制御定数を得るためMFC1の初期校正が必要となる。

また、MFC1の検出特性や流量特性は、そのセンサ112やダイアフラム121の劣化や流体通路内壁への反応物付着などにより経時的に変化するため、初期のみならずその後

【0008】

【発明が解決しようとする課題】

従来、MFC1の校正は、MFC1単体に、または流体通路4に介設されたMFC1に例えば重量式の流量計を接続し、実際に使用されるガスあるいは校正用ガスを流し、流量を測定し、その測定値に基づいてMFC1の検出特性と流量特性を確認し、上述した補正量や制御定数を回路制御部13に入力するという作業を人手で行っていた。そのため校正には時間がかかり、流体通路4にMFC1を介設した状態で校正する場合には半導体製造ラインのクリーン度をその作業により低下させるという問題があった。

【0009】

従来のMFCの校正方法の一例が特開平7-263350号公報に開示されている。この校正方法は、ガスが流れる流体通路にMFCとMFCの下流側に流量計を介設し、流量計の検出値に基づいて校正器によりMFCの校正を行うものであり、前記のような人手の校正作業による半導体製造ラインのクリーン度の低下を防止することができるものである。しかしながら、特開平7-263350号公報の段落16には、「…測定流量xが規定誤差範囲外であれば、校正器5によりMFC1のガス流量を自動的または半自動的に校正する。…」と記載されているのみであり、MFC1の検出特性の校正方法については具体的に言及がなく、MFC1が高度な供給精度を有するよう、効率的に校正することができないという問題がある。また、高い応答性を有するMFC1とするためには、上述のようにMFC1の流量特性に基づいて制御定数を求める必要がある。しかし、特開平7-263350号公報に記載の校正器はガス流量を校正するものであり、制御定数を設定することはできず、MFC1が高い応答性を有するよう、効率的に校正することができないという問題がある。

本発明は上記の課題を鑑みてなされたものであり、MFCが高い供給精度と応答性を有するよう、効率的に校正できるMFCの校正方法及び装置を提供することを目的としている。

【0010】

【課題を解決するための手段】

上記の課題を解決した本発明のマスフローコントローラの校正方法は、ガス流体を流す流体通路に介設され、駆動信号により弁開度を制御する流量制御弁と該ガス流体の流量を流

量信号として出力するセンサ部を備えたマスフローコントローラの校正方法であって、該ガス流体の流量を流量信号として出力する流量計の流量信号に基づいて所定のガス流量となるように駆動信号を調整し、得られたマスフローコントローラの流量特性に基づいて駆動信号の出力パターンを制御する制御定数を算出する工程と、流量計とマスフローコントローラのセンサ部で所定のガス流量を測定し、得られた流量計とマスフローコントローラの検出特性に基づいて、マスフローコントローラの検出特性の補正量を算出する工程とを有することを特徴としている。

【0011】

また本発明のマスフローコントローラの校正装置は、ガス流体を流す流体通路に介設され、駆動信号により弁開度が制御される流量制御弁と該ガス流体の流量を流量信号として出力するセンサ部を備えたマスフローコントローラの校正装置であって、該ガス流体の流量を流量信号として出力する流量計と、その流量計の流量信号に基づき前記マスフローコントローラを制御する校正器を有し、該校正器は、流量計の流量信号に基づき所定のガス流量となるように駆動信号を調整し前記マスフローコントローラの流量特性を得る第1の演算回路と、得られたマスフローコントローラの流量特性に基づいて駆動信号の出力パターンを制御する制御定数を算出する第2の演算回路を備えたバルブ校正部と、流量計とマスフローコントローラのセンサ部で所定のガス流量を測定し前記マスフローコントローラの検出特性を得る第3の演算回路と、得られた流量計とマスフローコントローラの検出特性に基づいてマスフローコントローラの検出特性の補正量を算出する第4の演算回路を備えたセンサ校正部とを有することを特徴としている。

【0012】

【発明の実施の形態】

本発明の実施形態の一例を図1～図6に基づいて説明する。図1は、本発明のMFCの校正装置の一実施態様を示したものである。図2はMFCの流量特性の校正方法、図3はMFCの検出特性の校正方法のフローを示したものである。図4は、MFCの流量特性の校正方法を説明するための、駆動信号とガス流量の関係を示したものである。図5は、MFCの検出特性の校正方法を説明するための、ガス流量と流量信号の関係を示したものである。図6は、制御定数の算出方法を説明するための、流量特性の傾き量と比例定数の関係を示したものである。

なお下記の本実施態様の説明では、上述したアナログーデジタル制御のMFCの校正について述べているが、本発明のMFCの校正方法及びその装置はそれに限ることなく、例えばデジタル制御のMFCや外部にデジタル制御回路を有するアナログ制御のMFCに適用することも可能である。

【0013】

図1に示すように、本実施態様のMFCの校正装置は、ガスが流れる流体通路4に介設されたMFC9と、MFC9の下流に介設された流量計2と、MFC9および流量計2を制御する校正器3からなる。図1において左側である上流側には図示しないガス発生手段とその下流側に開閉弁が配設されている。また、図1において右側である下流側には図示しない半導体製造プロセス、例えば成膜装置やエッチング装置が配設されている。なお図1において、図8と同一構成部分については同一符号を付して説明を省略する。

【0014】

MFC9は、前記した従来のMFC1に本発明に係る校正要素ならびに校正機能を追加したものであり、センサ部11、流量制御弁12及びそれらを制御する制御回路部93からなる。その制御回路部93はデジタル回路系DEとアナログ回路系NAからなり、デジタル回路系DEは、デジタル演算回路931と回路切替部939を備えている。

デジタル演算回路931は、前記した従来のMFC1のデジタル演算回路131の動作に加え、A/D変換器133を介して校正器3より入力される駆動信号をD/A変換器135を介してバルブ駆動部123へ出力し、A/D変換器132を介してセンサ部11より入力される流量信号をD/A変換器134を介して校正器3へ出力し、後述する回路切替部939へ回路を切替える信号を出力するものである。

10

20

30

40

50

回路切替部 939 は、流量信号の影響なくバルブ駆動部 123 へ駆動信号を直接出力するために設けられるものである。つまり、回路切替部 939 は、例えば D/A 変換器 135 と比較部 137 を結ぶ回路中に設けられ、校正の際にはデジタル演算回路 931 の信号により回路が切替えられ、比較部 137 を介することなくバルブ駆動部 123 へ駆動信号を出力するものである。

【0015】

流量計 2 は、基本的には前記した従来の MFC 1 より流量制御弁 12 を除いたものであり、センサ部 21 と制御回路部 23 を有している。センサ部 21 の構造は、前記 MFC 1 のセンサ部 11 と同様であり、センサ管 211 と、バイパス 6 と、センサ管 211 に一对の電熱線 214 が巻回されてなるセンサ 212 と、センサ 212 の出力を制御するセンサ制御回路 213 からなる。制御回路部 23 は、A/D 変換器 232 を介して入力されたセンサ部 22 の流量信号を後述するように補正し、校正器 3 へ D/A 変換器 234 を介して出力する例えばマイクロコンピュータからなるデジタル演算回路 231 と、インターフェース 236 を有している。

10

【0016】

流量計 2 は、例えば重量式流量計などの原器により精密に校正されたものである。すなわち、その原器により流量計 2 のセンサ部 22 の検出特性を測定すると、図 5 において実線で示されるような曲線状の検出特性を得ることができる。その検出特性のゼロ点補正を行うため、そのゼロ点を矢印 A で示すように原点へ移動させ、その移動量をゼロ点補正量とする。次に、一点鎖線で示されるゼロ点補正後の検出特性と破線で示される理想特性との

20

ずれを矢印 B で示すような変位量として求め、その変位量をシフト補正量とする。A/D 変換器 232 を介してデジタル回路 231 へ入力されたセンサ部 22 の流量信号は、上記ゼロ点補正量とシフト補正量により補正され、D/A 変換器 234 を介して校正器 3 へ出力されることとなる。なお、デジタル回路 231 で補正された流量信号は、インターフェース 236 を用いてデジタル信号として出力することも可能である。

なお、本実施態様における流量計 2 は、熱的效果を利用してガス流量を測定するものであるが、例えば電磁気的效果を利用したものや、電磁波を利用したものなど種々の流量計 2 を使用することができる。

【0017】

例えばマイクロコンピュータからなる校正器 3 は、流量計 2 の流量信号に基づいて MFC 9 の流量特性と検出特性を校正するものである。校正器 3 は、流量計 2 の流量信号に基づいて所定のガス流量となるように駆動信号を調整し、得られたガス流量と駆動信号の関係より MFC 9 の流量特性を算出し、その MFC 9 の流量特性に基づいて制御定数を算出するバルブ校正部 31 と、流量計 2 と MFC 9 で所定のガス流量を測定し、それぞれの流量信号とガス流量の関係より流量計 2 と MFC 9 の検出特性を算出し、その流量計 2 と MFC 9 の検出特性に基づいて MFC 9 の検出特性の補正量を算出するセンサ校正部 32 を有している。

30

【0018】

以上で述べたような本実施態様の MFC 9 の校正装置による、MFC 9 の校正方法について以下説明する。

40

本実施態様の MFC 9 の校正方法は、

1) 流量計の流量信号に基づいて所定のガス流量となるように駆動信号を調整し、得られたマスフローコントローラの流量特性に基づいて駆動信号の出力パターンを制御する制御定数を算出する工程と、

2) 流量計とマスフローコントローラのセンサ部で所定のガス流量を測定し、得られた流量計とマスフローコントローラの検出特性に基づいて、マスフローコントローラの検出特性の補正量を算出する工程と

を有している。

【0019】

最初に、上記の 1) 項の制御定数を算出する工程について説明する。この工程は、校正器

50

3 のバルブ校正部 3 1 により行われるものであり、図 2 に示すように、M F C 9 の上流側に配置された開閉弁を開き (A)、流量制御弁 1 2 のバルブ駆動部 1 2 3 へ 1 0 0 % 流量となると想定される駆動信号を与え (B)、流体通路 4 を流れるガスの流量を流量計 2 で測定し (C)、そのガス流量と所定の 1 0 0 % 流量とを比較し (D)、その差が基準値から外れていれば、所定の 1 0 0 % 流量となるよう駆動信号の大きさを調整する (E)。同様な操作を 1 0 0 % 流量から 0 % 流量まで例えば 1 0 % 流量ごとに複数回繰り返すことにより (F)、図 4 において実線で示すような規格のガス流量範囲におけるガス流量と駆動信号の関係、つまり流量制御弁 1 2 の流量特性を得ることができる。

次に、その流量制御弁 1 2 の流量特性に基づいて制御定数が算出される (G)。本実施態様では、下記で詳細に説明するように、図 4 において実線で示されるその流量特性の所定の流量に対する接線の傾き量を求め、その傾き量により制御定数を算出するものである。

【0020】

制御定数、ここでは比例定数の算出方法について図 4、7 に基づき説明する。図 7 は、前記 M F C 9 の流量特性の接線の傾き量と比例定数の関係を示したものであり、比例定数は 1 0 0 % 流量時の比例定数を 1 として相対的に表示されている。図 4 において、5 0 % 流量時のその接線の傾き量を算出する。次に図 7 に示されるような流量特性の接線の傾き量と比例定数の関係に、その 5 0 % 流量時の傾き量を算入し比例定数を算出する。なお、図 7 で示したような流量特性の接線の傾き量と制御定数の関係は、第 2 の演算回路に数式または数表として格納されており、例えば流量特性を微分して求められた傾き量とその数式または数表に代入され、制御定数が求められる。算出された制御定数は、M F C 9 の制御定数切替部 1 3 8 へ転送され、格納されることとなる。

【0021】

次に、上記 2) 項の補正量を算出する工程について説明する。この工程は、校正器 3 のセンサ校正部 3 1 により行われるものであり、図 3 に示すように、開閉弁を閉じて (A)、ガスを流さない状態で流量計 2 と M F C 9 で測定し (B、C)。開閉弁を開き (D)、所定のガス流量が 1 0 % 流量となるような流量制御弁 1 2 の弁開度とし (E)、そのガス流量を流量計 2 と M F C 9 で測定し (F、G)、そのサイクルを 1 0 % 流量～1 0 0 % 流量まで 1 0 % 流量ごとに複数回繰り返すことにより (H)、図 5 において実線で示される曲線状の M F C 9 の検出特性と、破線で示される原点を通る直線状の流量計 2 の検出特性を得ることができる。

次に、それぞれの検出特性に基づいて M F C 9 の検出特性の補正量が下記のように算出される (I)。

【0022】

図 5 に示すように、実線で示される M F C 9 の検出特性のゼロ点補正を行うため、そのゼロ点を矢印 A で示すように原点へ移動させ、その移動量をゼロ点補正量とする。次に、一点鎖線で示されるゼロ点補正した M F C 9 の検出特性と破線で示される流量計 2 の検出特性とのずれを矢印 B で示すような変位量として求め、その変位量をシフト補正量とする。設定されたゼロ点補正量とシフト補正量は、M F C 9 のデジタル演算回路 9 3 1 に転送され、格納されることとなる。

【0023】

なお上述の説明では、M F C 9 の流量特性と検出特性の校正はそれぞれ単独に実施しているが、同時に実施することも可能である。また上述の説明では、初期校正について述べているが、その後の使用中の校正についても同様な方法で実施することが可能である。

【0024】

【発明の効果】

上記で説明したように、本発明の M F C の校正方法及びその装置においては、M F C 9 の検出特性の補正量と M F C 9 の流量特性に基づく制御定数の算出を、M F C 9 と流量計 2 を制御する校正器 3 により自動的に行うことが可能であり、高度な供給精度と高い応答性を有する M F C 9 となるよう、極めて効率的に校正を行うことができる。

【図面の簡単な説明】

10

20

30

40

50

【図 1】 本発明のマスフローコントローラの校正装置の一実施態様を示す図である。

【図 2】 マスフローコントローラの流量特性を補正するフローを示す図である。

【図 3】 マスフローコントローラの検出特性を補正するフローを示す図である。

【図 4】 ガス流量とマスフローコントローラの駆動信号の関係を示す図である。

【図 5】 ガス流量とマスフローコントローラの流量信号の関係を示す図である。

【図 6】 マスフローコントローラの流量特性から求めた接線の傾きの大きさと比例定数の関係を示す図である。

【図 7】 マスフローコントローラの制御特性を示す図である。

【図 8】 従来のマスフローコントローラの概略構成図である。

【符号の説明】

1、9：マスフローコントローラ、11：センサ部、12：流量制御弁、13、93：制御回路部

2：流量計、21：センサ部、23：制御回路部

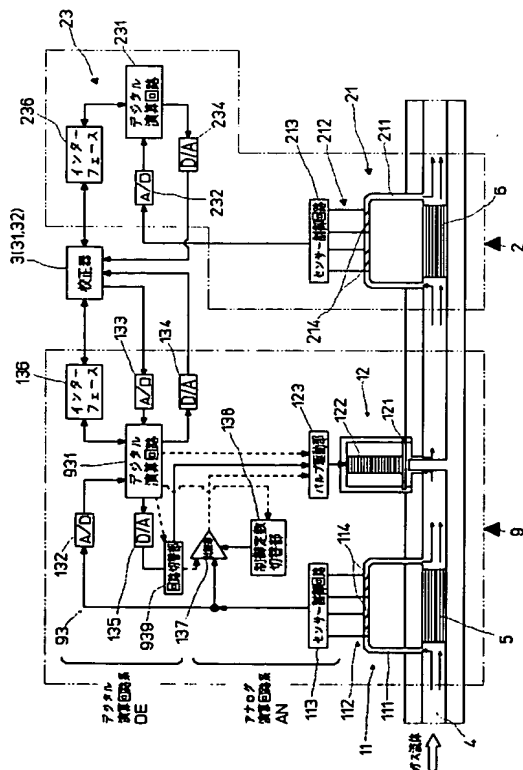
3：校正器、31：バルブ校正部、32：センサ校正部

4：流体通路

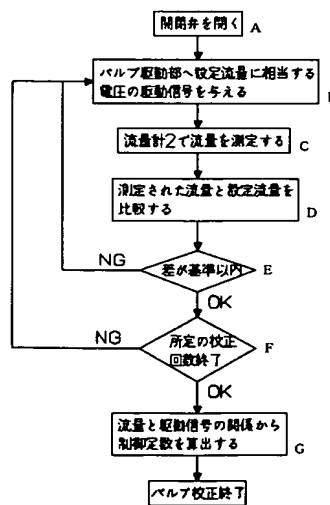
5：バイパス

10

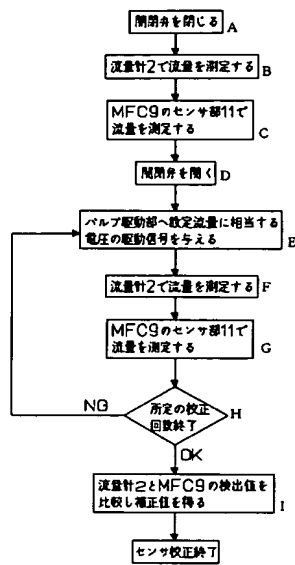
【図 1】



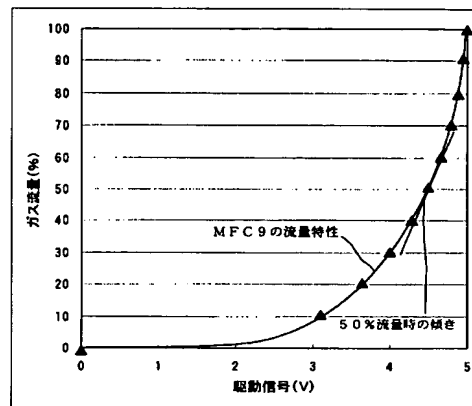
【図 2】



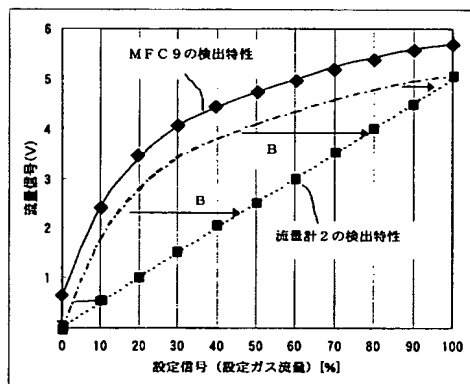
【図 3】



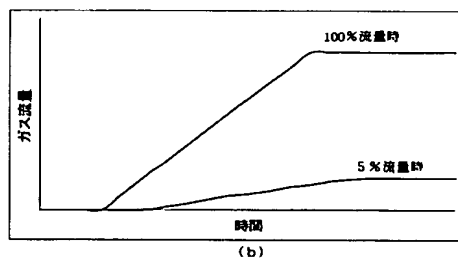
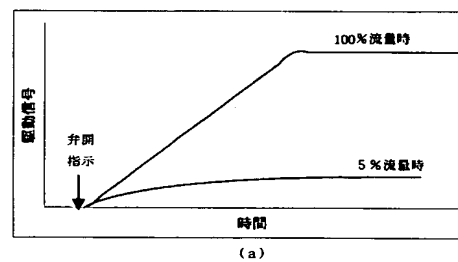
【図 4】



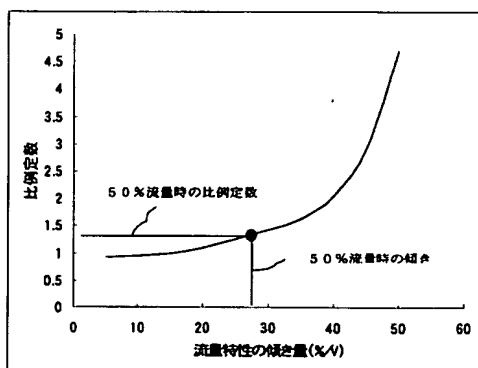
【図 5】



【図 7】



【図 6】



【図 8】

